美国结构工程师震区考察笔记

Miyamoto 先生　2008-06-18 11:38:22

我们是第一支考察四川地震灾区破坏现场的外国结构工程师团队。截至 2008 年 5 月 23 日的统计，这场 8.0 级地震已经造成超过 55000 人死亡、 20000 人失踪。后续统计的死亡数字预计还会上升。这场地震发生在中国的人口稠密地区，当地没有预计会发生如此大规模的地震。许多学校和医院倒塌，造成数以千计的学生和病人死亡。伤亡数量和破坏规模使得我们的行程充满艰辛。

我们奔赴中国研究这场地震，为地震工程研究所收集数据，并且调查我们客户受损的设施。但随着时间推移，我们的任务还演变成为国内外媒体提供技术评论以及帮助当地居民。

此行彻底改变了我，无论是作为一个人还是一名结构工程师。我永远不会忘记死亡的气味和倒塌校舍中的小书包。这是一场本来完全可以避免的工程灾难。但这也不仅仅是中国自身的问题。这是一个世界范围的问题，类似的危险建筑遍布全世界。结构工程师有责任道出问题并采取行动。

这是我在考察灾难时记录下来的个人笔记。

在此行中我发现中国政府非常开放，组织良好、能力充沛。我也发现四川人民的友好和坚韧。我忘不了一位失去家庭和所有财物的老妇慷慨地把水和面包让给我们。

我要感谢我们团队的成员：Global Risk Miyamoto 的 Chris Heaton，中铁十局第三工程公司的 Rocky Ng。没有他们根本无法成行。我还要感谢 Miyamoto International 和 Global Risk Miyamoto 的工作人员和我们的客户，大家鼓励的邮件让我在旅途中保持清醒。尤其要感谢 Tom Chan, Shin Kao 和 Rebecca Cully 提供的技术帮助和对手稿的编辑，对于我们的旅程和这篇笔记都至关重要。Peter Yanev 亲自到访过 100 多个地震现场，他为我们提供了重要的技术建议。King Huang 也对我们提供了针对中国特点的专业意见。

我还要感谢来自 NBC 和 NHK 电视台的勇敢的现场采访人员。他们追求真相的热切和专业精神是毋庸置疑的。感谢 Kondo, Irie, Dong, Pei, Ian, Kyle 和 Ed。

献给所有失去生命的人们，尤其是孩子们……

H. Kit Miyamoto

2008 年 5 月于加州 Davis

原文链接

2008 年 5 月 12 日四川发生了里氏 8 级地震，Miyamoto International 和 Global Risk Miyamoto 随即派出考察队奔赴灾区。考察队成员包括 Global Risk Miyamoto 的负责人 Chris Heaton，中铁十局第三工程公司的 Rocky Ng 以及本文作者 Kit Miyamoto。

5 月 18 日

上午 10:30，中国成都

我们与一支 NHK（日本广播公司）的摄制组会合，他们会报道我们的考察经过以及对破坏原因的推论。

成都是四川省的省会，人口超过 1000 万，是一个现代化城市。NHK 在成都的国际宾馆与我们会合。我们出发前往都江堰市聚源镇。当地有一所中学倒塌，掩埋了 700 个学生。他们坚持让我们戴上口罩，因为尸体腐烂的气味令人难以忍受。

上午 11:49，都江堰市聚源镇

我们沿穿过美丽林地的 213 国道来到聚源。这里的人口超过 5 万。聚源镇距成都 60 公里，距发生地震的断裂带约 50 公里。我们停下车，步行穿过被毁的商业和住宅街区来到聚源中学。

我们看见一个巨大的瓦砾堆，这曾是一所容纳 1000 多名学生的学校。700 个学生在此死亡，还有 20 个失踪。该倒塌建筑的结构为非延性现浇梁柱以及预制混凝土楼板，填充墙为无筋砖砌体墙。聚源中学建于 1996 年，相对较新。然而，非延性混凝土构件和无筋砖砌体墙在地震中成为杀手。这种结构的建筑抵抗强烈地震的能力很差，自从 1970 年代中开始在加州为法律所禁止。

我们进入紧挨瓦砾堆的一栋受损但未倒塌的建筑。损坏比较轻微。可能是因为其相对于地震作用力的朝向较为有利，以及较好的建筑质量。一位当地人告诉我们，倒塌的校舍曾在原有的两层之上加建了一层。加建也许是导致这场悲剧的又一个因素。瓦砾堆旁是一个大足球场，洒满白色粉末。我们被告知几天前 700 名遇难学生的尸体就摆在这里，白色粉末是用于防疫的……

下午 1:30

我们来到聚源小学。这是一栋与聚源中学类似结构的 4 层混凝土建筑，但破坏情况明显不同。在其剪力墙上只有很少的剪切（斜向）裂缝，建筑物之间有少量撞击破坏，但没有倒塌！这是建于 2007 年的全新建筑。我们从其没有重大破坏的情形看到，中国最新的施工方法如果能得到广泛应用，情况可能会好很多。

不幸的是，老式非延性混凝土结构带来的危险不独是中国的问题，而是世界范围的问题。我们必须正视在所有地震带上的这类建筑，以避免将来的悲剧。

小学校长让我们评估一下建筑的安全性。显然聚源镇还没有建立起建筑安全检查体系。我们采用了加州标准的快速检查法对其进行了评估，建议他在重新使用前必须进行维修。如果他们有类似加州和日本的检查制度会有很大帮助，我们有数以千计的志愿工程师来检查和标注建筑物的安全性——红色表示不许进入，黄色表示不能随便进入，绿色表示安全。

下午 2:15

在距倒塌中学约 1 英里的地方，我们见到一座施工中的办公楼。它已经快要完工，结构形式与小学类似。它受到的破坏只限于非结构构件。我们跑进这座建筑，NHK 的制片人和摄像紧跟着我们。这帮家伙真是敬业！为了缩短在受损建筑中的时间，我们有时会跑几步。在这座建筑中，我们见到许多摇摇欲坠的天花板。不出所料，看不到拉结钢筋。简单的拉结钢筋体系本来能够降低建筑物的损坏及缩短停业时间。

下午 3:30，都江堰幸福镇

我们进入幸福镇，这里有超过 30 万人口。镇中心距离震中约 50 公里。我们停下车，步行穿过镇中心街道。我们的第一印象是幸福镇受损并不严重。当地人把我们带到小学校。

我们穿过一个隧道样的门进入学校操场。我不敢相信自己的眼睛：4 层校舍倒塌一地。我们遇到一个带着小女孩照片的年轻母亲。她说她 7 岁的女儿死在瓦砾之中。我自己有三个年幼的孩子，在看到小女孩的照片时我想起了他们。校舍的结构形式与我们上午在聚源看到的一样。通过适当的抗震补强和翻修，本可以避免校舍倒塌。

下午 4:30

我们想沿 213 国道驶向震中，但镇外的道路已被警察封闭。由于滑坡的危险，我们今天不能再往下走了。

下午 4:45

我们回到幸福镇继续调查。走在一片死寂的废弃街道上，我们看到一座倒塌了一半的 5 层住宅楼。建筑的转角完全塌到了街道上。看起来是由于楼层间的柱子失去了支撑上部的能力。值得关注的是就在它旁边几乎同样的另一栋楼却没有严重受损。也许是建筑质量以及重要结构细部的不同造成了如此不同的结果。

在我们返回车子途中，很多当地人围着让我们检查他们那些多层住宅楼的安全性。我们竭尽所能帮助了他们，但数量实在太多了。

下午 6:10

最后一站，我们查看了一座倒掉压死了 200 个病人的医院。它是建于 1980 年代的混凝土建筑。我得说，看到这么多的死亡和满目疮痍，不禁让人非常压抑。我希望能让全世界的政府和建筑商都知道这场地震中的教训，从而挽救更多的生命。

明天我们会进一步接近震中……

5 月 19 日

上午 11:30

我们北上前往绵竹，它位于断裂带东面 10 公里。由于距离很近，我们预期会看到严重的破坏情形。我们的第一站是位于绵竹以南 10 公里的一个变电站，我们看到倒塌的围墙。变电站遭受的破坏限于蓄水池水管的破裂以及一些设备的歪倒。

中午 12:25

我们沿着美丽的乡村道路前行，稻田、水牛、烟叶田以及中国画里那种农舍……然后，几条受损的烟囱。我们马上停车。这是绵竹以南 5 公里的一家玻璃厂。烟囱是无筋砖砌体，大约 50 米高。如同常见的情形，烟囱顶部的 10 米掉到了地面上。高处较大的加速度造成了这种破坏。我们被邀进入工厂。厂长说他预计工厂要关闭半年。他需要重建烟囱。在仓库区，玻璃瓶堆了 15 英尺高，大约 10%的库存掉下来摔碎了。

中午 1:04 午饭时间

由于各处食物和水的供应有限，我们回到车上喝了点从酒店带出来的瓶装水，吃掉了国航在旧金山国际机场发给我们的芝士和饼干（幸亏我们留住了它们）。路上没有厕所。幸亏天气很热，我们喝下去的水都变成了汗，所以不必停车“唱歌”。

下午 1:15，绵竹

我们进入这个 51 万人口的城市，把车停在市中心。一群当地人马上聚到我们的车周围开始对着我们大喊起来，让我们一头雾水。我们所信赖的本地伙伴 Rocky Ng 冷静地处理着。中国这个地区有许多少数民族，和成都人大不相同。他们更加矮小，口音也很重，我们的翻译很难和他们沟通。我们了解到这里死亡人数超过 1 万，还有 7000 人在城市以北 20 公里的地方被掩埋。

我们来到实验学校，和一个女学生聊了一下。她的英语不错，她告诉我们地震发生时如何从学校跑出来。在这栋大楼的入口处，混凝土柱在承受最高弯曲应力处呈爆炸状。如果摇晃再长点时间，这栋楼说不定就会垮掉。柱子的破坏说明水平箍筋不足，似曾相识——非延性混凝土。我们赶紧离开了大楼。

下午 2:15

我们在一栋完全倒塌的农舍前停下来。这里唯一剩下的只有一个老旧的门口。一对老年男女用水和面包欢迎我们。天气潮湿炎热，温度超过 30℃，但明知他们已经一无所有，还失去了 15 位家人，我们怎么忍心接受他们的馈赠？

房子的结构是砖墙和木框架屋顶，铺黑色的轻质瓦片，比我们去年在 7.3 级新泻地震后见到的日本瓦片还要轻。

这些轻质、无粘结瓦片在地震中被震落其实有助于减少建筑物所受的地震力，因为减少了建筑的惯性质量。但是，没加钢筋的土坯或砖墙在受到地震力时毫无稳定性。我们和他们多聊了几句并祝福他们，此外我们还能做什么呢？我们临走时，NBC 摄制组过来告诉我们街那边有所学校受损严重，请我们一起过去。

下午 2:40

我们来到汉旺武都小学，这里的三栋建筑，两栋完全垮塌，剩下的一栋塌了三分之一。这所学校建于 1998 年，采用的是当地常见的建筑模式——非延性框架支撑预制混凝土楼板，无筋砖砌体填充墙。我进到半塌的建筑中向 NBC 和 NHK 的摄制组讲解了这种建筑的危险性。200 个孩子死于此处。

每个人都应该知道尽快对这些建筑进行抗震加固的重要性。在中国建筑设计规范中，这个地区是地震中度设防区。这场地震无论从哪些方面看都不止是中度，所以区域划分可能需要调整。

媒体提到要追究为这些学校垮塌负责的人或政府官员。这会很难，因为许多受损建筑整个塌掉而且被拆除了。没有证据的情况下，很难确定垮塌是因为建筑规范、工程设计还是施工质量的原因。我们强烈认为应该把注意力放到今后如何在世界范围内避免这种垮塌的发生。采用新的混凝土剪力墙和其他支撑体系来加固这种类型的建筑并不困难。世界银行的资金正支持对伊斯坦布尔的学校进行加固。土耳其的学校一定程度上与中国学校类似。我们公司正在协助伊斯坦布尔政府实现这些加固计划。

下午 3:50

汉旺，死亡之镇。称其为“死亡之镇”，是因为其所受破坏太过彻底。镇子的人口曾有 6 万之众，但没人知道有多少幸存。汉旺位于大熊猫故乡龙门山脉的入口，周围环境让我联想到中国画中的情景。震中就在附近的山脉中。我们走过镇中心，见到 4 层高的中学。墙上有很多剪切裂缝，但建筑物还没倒。我们跑了进去，NHK 的摄像勇敢地跟进来。

这栋建筑的破坏是典型的沿走廊墙体发生的“短柱”破坏。短柱的形成是因为窗框上下侧的填充墙紧挨着钢筋混凝土柱，效果等于缩短了柱子，导致柱子吸引更多的地震力，遭到剪切破坏而不是弯曲破坏。而柱子在抵挡弯曲力时会更有韧性（即更安全）。

这些柱子像被炸过一样，所以我只能向摄像师做了一个尽可能简短的对“短柱”成因的解说，然后迅速离开了那里。穿过学校操场时，我们又得踏过许多白色粉末……

下午 4:25

我们进入当地的医院综合楼，看到了惊人一幕：软弱楼层失效的 5 层混凝土建筑。这栋楼建于 1999 年，首层是车库，形成了软弱楼层。首层柱失效，导致 5 层建筑整个“坐”下来变成了 4 层。在垮塌的首层废墟之下能看到几辆被压成薄饼的汽车。在此地遇到的一个人告诉我们，他妻子是这家医院的病人，被压在里面 7 天了，还没救出来。

这家医院上面的楼层没有垮塌，所以很多人能够逃生。我见到一条由几张床单绑在一起拼凑出来的逃生绳从高处的窗户和阳台上垂下来。很显然，在没能得到即时帮助的情况下，屋里的人自力更生，用它尽快逃出了大楼。

下午 5:15

我们经过一个 90%建筑物倒塌或严重受损的区域，其中包括几间学校。这个地方让我想起电影《拯救大兵瑞恩》的场景，一场城市巷战造成十室九塌。这片地方看起来像是经过大爆炸，迷漫着尸体腐烂的气味。现在我们都戴上了口罩。

我们调查途中，经过一个很大的混凝土瓦砾堆，听到从中传出一首中文歌声。大家都很激动，Rocky 和 Chris 用棍子奋力敲打混凝土板，想看看下面还有没有人幸存。但没有回应。过了一会儿，我们说服自己，音乐来自于手机或是还在播放的录音机。

在这个地方我们没有看到一个活人。搜救人员已经结束了此地的工作转战别处。这片地方给人一个大坟场的古怪感觉。晚上我们离开时，士兵们要求对所有人全身消毒。他们在我们身上喷洒气味扑鼻的化学品。

晚上 8:00，回到酒店

NHK 已经跟了我们两天，他们决定明天与我们分道扬镳。NBC 还想跟下去，明天我们将回到汉旺进行深入调查。

5 月 20 日

凌晨 2:00

前台打电话通知我，政府刚刚发布余震警告，每个人都要到酒店大堂去。她的声音一路打颤。我告诉她地震预报根本不准，让她不要担心。再说，酒店离震中 100 公里，而且已经经受过 7.9 级地震考验。她根本不相信我，一直敲我的门叫我出去。我还是不管她们的警告。我得写一份报告，还得为明天睡上几个钟头。

早上 5:30

我下到大堂，看见很多客人都通宵待在大堂等那场等不来的地震。有时候做个结构工程师也有好处。

上午 8:30

昨晚我们都能睡上几个钟头，是这些天睡得最多的。肾上腺素的作用令人不可思议。我们在酒店大堂与 NBC 摄制组会合，准备出发。我们会再访“死亡小镇”汉旺。

上午 10:45 绵阳钢铁厂

我们到达绵阳西南边的一个钢制品厂。这座厂房是 2003 年兴建的单层钢结构厂房，采用了钢网格斜撑。厂长迎接了我们，把我们带进厂房。他很高兴我们能来，他说还没有其他人来检查这个中等规模的工厂。不出我们所料，厂房没受什么破坏，只是破了一些窗玻璃。工人们还是很害怕，不敢进入厂房，所以地震以来一直停工。轻型钢结构的抗震表现总是优于无筋砖砌体和非延性混凝土结构。我们告诉厂长，厂房的状况很好、很安全。听我们这么说他很高兴，说要尽快告诉工人们。

中午 12:20，汉旺

在遭受上星期一的 8 级地震之前，汉旺一定是一座美丽的城市。而现在只是一座死城，到处是断垣残壁。当时地表加速度一定很高，而且强烈震动的时间很长，造成了如此严重的破坏。

中午 12:30

我们停下车，走进一栋废弃的 8 层住宅楼。它的结构无筋砖砌体墙和混凝土楼板。我们在窗口之间见到许多斜向剪切裂缝，但墙还没有塌。斜向剪切裂缝是由于横向地震力造成的。

砖墙抵抗了地震力，保住了建筑物没有倒塌。这里每个房间都很小，因而墙体很多。墙越多建筑的抗震能力就越好。我们已经注意到很多旧的住宅楼能够幸免倒塌。

我边走边向 NBC 的制片人讲解这些结构工程基本知识。我很乐意当老师。让大家了解到建筑物塌与不塌的原因是很重要的。我们见不到一个活人，只是偶尔见到失去主人的狗或小鸡。

下午 1:50

我们离开住宅区，来到一片遭到惊人破坏的地区。我们沿着街道走，路旁两边是 20 英尺高的混凝土墙和砖垛。

我们到了一所学校，80%都垮塌了。这是建于 1994 年的 4 层楼。这种教学楼的抗震能力很差。我们发现许多完全垮塌的建筑都是学校。这些建筑的强度和延

性都不够，这两点用于评价建筑物吸收地震力的能力。如果加入足够的钢筋，处理好细部，混凝土或砖结构都能有很高的延性。

我再次见到预制混凝土楼板悬在黑板上方。这些预制板是楼板，或者说曾经是。支撑这些楼板的柱或墙失效后，这些板和它们承载的孩子们一起掉下来，而上层楼板也是这样砸下来……黑板上鲜活的粉笔字和仍在墙上的孩子们的照片令人伤心欲绝。地板突然下陷和天花板砸下来的时候，孩子们和老师们所受的惊恐，令人不敢想像。

我们这些结构工程师都有责任避免这种灾难。我要说，建筑物的倒塌是我们对公众的失职。世界上到处都有危险的建筑，美国、加拿大、日本、中国、南美、东欧、东南亚……都有很多。除非我们说出来，否则一生中还会一次又一次地见到这种悲剧。我们必须带头与公众交流，提供教育。这是一项重要工作，我们所爱的人的生命有赖于此。

我们看到学校旁边的一栋宿舍楼。它的结构与我之前提到的住宅楼是类似的。它已经全部裂开了，但还立着没倒。我相信在其中的多数孩子都能逃生。顺便提一下，全世界大多数建筑规范的目的就在于此——生命安全。在强烈地震中，建筑结构可能会受到严重破坏，但不能倒塌。从这一点看，这栋楼表现不错。

下午 3:00

我们经过一群在吃午饭的工人。负责人告诉我们他 8 岁大的儿子还埋在我们刚才看过的学校里。他们这群人负责清理包括学校在内的这片区域。

下午 3:18

我们走进一家工厂。所有砖墙都向外倒塌了，但混凝土柱独立撑住了屋顶，使整栋建筑不至于垮塌。屋顶的结构是钢桁架。地震导致厂房里的重型设备移动了约 6 英寸。这种情形我在去年的新泻地震灾区也见过，一家日本汽车零件工厂的设备移位影响了几十万辆车的生产。只要在地面增加锚固螺栓就能避免这种情况。

下午 3:30

NBC 的摄像师爬到 30 英尺高的混凝土废墟上拍了几个镜头。我在这里遇到的所有记者都很投入、很勇敢甚至有点疯狂。他们整天都在现场，为了剪辑和与总部沟通而通宵工作。工作条件极其艰苦。我们经常满身尘土，汗透衣衫，还被喷上化学药品。不时的余震和疫病爆发的危险也来凑热闹。无论是记者还是地震结构工程师，都不是好差事。他们能和我们一道记录下真实情况让我很高兴。

下午 4:30

我们经过一具刚刚被救援队挖出来的支离破碎的尸体。经过 8 天的炎热和雨水，已经惨不忍睹。我尽量不去看……

下午 4:40

在废墟之中我们看到一栋完好无损的单层厂房。又是轻钢结构的，但已经人去屋空。结构表现良好，但没有工人，周围又是废墟，所以无法正常使用。我们又见到固定设备滑离了基础。

下午 4:55

附近有一栋 3 层的混凝土办公楼，只有木屋顶受到破坏。它的墙体很多，看上去设计良好。是的，好的设计会有好到回报，还能挽救生命。

下午 5:10

我们看到一座没有损坏的混凝土水塔。这个构筑物的振动频率与它周边的建筑都不同，它很细长因而振动频率较低，这也许有助于它抵抗较高的加速度。此外，水塔的形状和重量需要高质量的钢筋混凝土和坚实的基础，这些都有助于它的好表现。

下午 5:15

我们走回车子的路上见到一组各异的住宅楼。一栋楼的中间从头到脚裂开了大口子，歪到了一边。走近一点，我们发现首层砖墙完全失效，全被压扁了。至少有 4 栋楼都是这样。住在底层的人完全没有生还机会。检查了其中幸存的一栋楼，我注意到没有多少墙体来抵抗地震力。大部分都是窗，根本不能抗震。外墙上有红油漆写的中文。Rocky 告诉我，意思是在箭头所指的地方埋着一具尸体。

下午 6:00

我们上车开回成都。我们在汉旺附近的一个村子停下来，一下车就被要求帮他们检查房子的村民包围了。这里的房子多是小型混凝土结构。没有房子倒塌，多数房子没有损坏。但人们还是住在帐篷里。我们查看了几栋房子，和人们聊了一下。我很喜欢和当地人交流。这里的人可以归到我遇到过的最有礼貌、最为友好的人当中。看着孩子们的笑脸，一天的艰辛都烟消云散了。

晚 9:00，成都

我们会晤了一群商人和一名政府官员。他们都很关心地震及其对该地区国内外投资的不利影响。他们请我们吃传统四川菜。我们告诉他们，只要有正确的风险管理和好的结构工程师，降低地震风险是有可能的。为了保护投资，应该告诉投资者结构处理和保险的可选方案。晚饭很好吃，但我不知道同事 Chris 会不会喜欢吃海参。海参做得很好、很软，真是美味，我喜欢。

5 月 21 日

上午 8:30

这是我们行程的最后一天。NHK 来要求回到我们 18 日查看过的聚源镇第一所中学那里。NHK 打算详细调查一下教学楼，放到本周六的一个 90 分钟的专辑里。这让我们很为难，因为我们本打算查看尽可能多的地方。我们还是决定跟他们一起。让公众知道建筑物的危险成因是件好事。

我们开了两辆车。NHK 提供了午餐：一片面包和橙汁。我们白天吃很少东西，因为根本没有胃口。看着如此多的毁坏、痛苦和死亡，谁还能有野餐的心情？

上午 11:00，都江堰聚源镇

我们来到聚源，它离震中很近。走在街上，我们看到这里的地震力明显集中在一个方向。很多建筑物的墙上都能看到同一方向的斜向裂缝。

上午 11:20

走进中学操场，我感觉又回到了挥之不去的噩梦。地上和废墟上都洒着白色的消毒粉，就像白雪覆盖的坟场。

上午 11:35

我们查看扭曲的混凝土和破碎的砖块，仔细探究这栋楼是怎么建的。NHK 给了我们一张草图和一张学校原状的照片。

中午 12:10

一个客户要求对其受损的厂房进行结构勘察，我们只好兵分两路。Chris 和 Rocky 去勘察，我和 NHK 摄制组一起继续调查。他们要开车 5 小时才能到那里。路况和我们车子的避震都很差，路上够他们受的。跟他们道别的时候有种异样的感觉，我们在过去的 5 天中共同经历了太多。

中午 12:20，对倒塌的分析

乍一看，我以为校舍是混凝土框架建筑，我在地面见到断掉的混凝土梁和钢筋。我的脑海里勾勒出了混凝土框架。但我找不到柱子。能找到的混凝土构件只有预制楼板和梁。研究了半个钟头之后，我最终意识到混凝土楼板是由无筋砖墙支撑的。这是一种由砌体墙承重的结构，楼梯间的结构则是独立的，在这次行程中我已经见过许多。现浇的楼梯间成为整个学校最安全的地方。我听说恰巧在楼梯间的孩子都幸存了。

一次又一次地震证明，砌体墙承重结构是最危险的结构形式之一。

设想一下用乐高积木搭房子，但积木上没有凸粒把它们扣在一起。这种积木房子不能抵抗横向摇晃。这栋校舍就像是这种虚弱的积木房子。

为了抵抗地震力，建筑设计时要考虑承受重力（竖向）以及地震力和风（横向）荷载。这间校舍的预制楼板只是简单地搭在混凝土梁上。楼板之间、楼板和梁之间都没有专门连接。在楼板和梁之上也没有现浇的混凝土层来将它们连结成整体。梁也只是简单地架在承重砖墙上，没有专门连接。教室的大面积窗户进一步削弱了抵抗地震力的墙体。这些被削弱的砖墙一起构成了致命的组合。

教室之间是实体的砖隔墙。正如之前提到过，如果这些墙足够多，即使是无筋砖砌体，建筑物也不一定会塌。旁边没有倒塌的实验楼有类似的砖隔墙，恰好与地震时的地面运动方向一致。我在首层墙面上发现一条很大的斜向裂缝。这面墙和我之前提过的商铺那些墙都是同样的走向。假如地面的强烈运动是与墙面垂直的方向，这栋楼很可能同样会垮掉。

这场地震由附近的龙门山断裂带造成，是冲击断裂。从墙体裂缝来看，断裂爆发的巨大脉冲沿与断裂带垂直方向扩散，指向东北方。所以在这个地区，如果建筑物有很多垂直于断裂带的实体墙，就很有可能不会垮。但如果墙身被门窗开口所削弱，垮塌就不可避免了。对于这里的 700 个孩子，很不幸，窗口是沿西北向排列的。

旁边的宿舍楼幸免于倒塌，但墙身有很多剪切裂缝。这种情况与我们昨天见到的那些没倒下的住宅楼是类似的。由于宿舍房间很小，建筑物里有很多墙体来抵御地震力。

上面的内容我也在镜头前讲了。真实情况总得讲出来。砌体承重和非延力混凝土结构再次导致数以千计的死亡。

下午 3:30

录像完成了。我想独自在白粉覆盖的操场边上走走。在瓦砾之上，我看到一个人在徒手挖掘和搬开那些扭曲的钢筋和混凝土。他的眼中充满泪水。这里还有 20 个孩子没找到。我看到堆在一起的书包，有几个妇女在其中找自己孩子的那个。她们都很悲伤，但没找到她们就不会罢休。

废墟旁边，有两张女孩的照片，是一种简单的拜祭。旁边的磁带录音机里播放着我们几天前听到的那首中文歌。这应该是表达某种祈祷。**我在这些照片前跪了一会儿，眼泪抑制不住地流下来。**

晚 7:30，成都

我已经回到酒店，与东京理工学院的 Wada 教授会面。他是我的博士生导师，我很高兴看到他慈祥的面孔。Wada 教授是日本非常有名的地震工程师。他会是第一位从日本来考察地震现场的工程师。目前为止，大家说我们是第一批来自国外的工程师队伍。

在这次行程中，我看到中国政府非常开放，组织良好而且很有能力。我看到军队、医疗队、搜救队、清拆队和防疫专家在密切配合、迅速行动。电视台的朋友们说采访过程中没有受到任何阻挠。

从技术角度说，我们的发现印证了已有的教训：无筋砖砌体承重、非延性混凝土、相互连接薄弱的建筑构件，这样的组合在地震中会非常危险。不幸的是，这种教训一次又一次地发生。这不是中国独有的问题。我们必须在世界范围内加固这种危险的建筑，无论是在美国、加拿大、中南美洲、日本、中国、东南亚还是东欧。如果我们这么做了，在此牺牲的 55000 多条人命才不会白白付出。我们对不起死于这些学校中的孩子们。

5 月 23 日

上午 10:00，加州 Davis

我回到了阳光灿烂的加州 Davis。四川仿佛一个遥远的记忆。我正和家人一起参加 6 岁女儿幼儿园的歌舞表演。能回到家里亲人身边真是太好了。我看着女儿和小朋友们一起歌唱，四川倒塌的幼儿园、学校在我脑海里闪回。泪水溢出了眼眶......


藏觀
書察